

ネットワークの自律的な運用保全を行うコンシャスネットワーク

Conscious Network That Operates and Maintains Itself

● 新田 拓哉 ● 青木 泰彦 ● 大矢 恭子 ● 飯塚 史之
● 本多 俊樹

あらまし

コンピューティングリソース、フロントデバイス、およびアプリケーションがオンプレミスやクラウドなどの様々な場所に配置され、それら全てがネットワークでつながり、人々や社会に多様なサービスをもたらす時代になってきた。一方で、ネットワークに障害が生じると、それらに多大な影響を及ぼしてしまう。これを防ぐためには、ネットワーク上で生じるわずかな変化を予兆として捉えて障害を未然に防止したり、あるいはエンドシステムには手を加えず、ユーザーにも気付かせることなくサービスを継続して利用可能にしたりする、自律的な運用保全を行うコンシャスネットワークが必要になると考えられる。そこで、富士通はネットワークの統合的な監視に必要となる、IP(Internet Protocol)パケットの挙動分析や光伝送装置の信号品質モニタ分析による予兆検知技術、IPネットワークの自動診断技術、および光波長再配置技術の開発に取り組んできた。

本稿では、コンシャスネットワークを実現するために必要となる、これらの技術について述べる。

Abstract

Today, networks connect computing resources, front devices, and applications that are scattered across many places, including those on-premise and in the cloud, allowing people and society as a whole to enjoy diverse services. However, a failure or degradation of a network has the potential to cause considerable problems to connected devices and services. To prevent these risks, a “conscious” network system with autonomous operation and maintenance capabilities will be required. Such a system will detect the slightest irregularities in the network as early signs of errors and prevent possible failures or degradation from occurring. It will also ensure that the services remain available without having to modify end users’ systems or make users aware of the network problems. To realize such a system, Fujitsu has been working on Internet Protocol (IP) packet behavior analysis and optical transport signal quality monitoring to develop the technologies necessary for integrated network monitoring: detection of early signs, self-diagnosis for IP networks, and optical wavelength relocation. This paper describes these technologies required for the realization of the conscious network.

まえがき

近年、ICTインフラやネットワークの保守・運用工数の低減、セキュリティの高度化、およびテレワーク需要の高まりにより、端末・オンプレミスサーバに具備していた機能がクラウドサービスに備えられるようになってきている。また、複数のクラウドにまたがってサービスが提供される場合もある。更に、クラウド化によって、WDM (Wavelength Division Multiplexing) ネットワークやIP (Internet Protocol) ネットワーク、無線ネットワークに加えて、それらの上に重畳される仮想ネットワークや業務指向ネットワークなどにまたがってサービスが提供されるようになってきた。

このため、サービスの応答が遅延したり、サービスが利用できなくなったりした場合、アプリケーションとネットワークのどちらの問題なのかを切り分ける必要がある。しかしネットワークに原因がある場合、品質劣化や障害がネットワーク上のどこで生じているのか特定が困難である。その結果、問題解決が長期化する傾向が強まっており、これにどう対応するかが課題となっている。

近年では、IoTによるデータ量やクラウドサービスの利用が増大した結果、固定ブロードバンドアクセスや移動体通信サービスが拡大し、それを支える基盤として光ネットワークの利用が進んでいる。その光ネットワークは、100～400 Gbpsの超大容量光ファイバー網を介しており、万一問題が起きれば影響を受けるサービスやユーザー、IoT機器の数は膨大になる。社会インフラとなった光ネットワークを止めないために、障害の予兆を検知し、新しい経路に迂回させたり、通信帯域を増やしたりする対処が求められている。

富士通は、上述した障害箇所を迅速に特定するとともに、サービスを安心・安全に運用するために、障害の予兆を検知することによってEnd-to-Endで通信のレイヤー（物理、仮想、業務）をまたがって、統合的に監視・運用していくことが重要であると考えている。

本稿では、まず予兆を検知して自律的に障害を予防する運用監視技術を、コンシャスネットワークというコンセプトで提唱する。次に、ネットワー

ク障害を未然に防止するための予兆検知技術と、サービス品質を維持するための技術について述べる。

従来技術とその問題点

これまでのネットワーク監視は、SNMP (Simple Network Management Protocol) /ICMP (Internet Control Message Protocol) によるポーリング監視と、TrapやSyslogといった機器から出力されるメッセージによって機器に障害が発生したことを検知し、それに対応する運用を行っていた。そのため、ネットワーク経路を迂回することでサービスの継続性を確保しても、問題発生後の対応となるため、サービスへの影響は避けられなかった。

また、ネットワーク装置内部の故障などに起因する障害が発生しているにも関わらず、装置自身が障害を検知できないサイレント故障^(注)の場合には、対応すらできなかった。

更に、WDMネットワーク、IPネットワーク（コアネットワーク、アクセスネットワーク、データセンター内ネットワーク）、および無線ネットワークに対してそれぞれネットワーク監視システムを設置し、独立して監視・運用を行っていた。そのため、運用効率が悪いことに加えて、障害箇所の特定に時間がかかり、サービスの復旧までに時間を要するという問題があった。

コンシャスネットワークとは

富士通は、前章で述べた問題を解決するため、ネットワークの高度化について検討した。そして、富士通のネットワークに関する分析・可視化技術を活用して障害が発生する前に予兆を検知し、自律的に制御を行うことで、End-to-Endでサービス品質を維持するコンシャスネットワークというコンセプトを提唱した。

このコンセプトの実現に向け、IPネットワークや光の伝送といったマルチレイヤー、マルチベンダーの機器のデータを収集・統合し分析する基盤上で、予兆検知、障害切り分け、原因特定、リソース最適化、経路迂回といったシナリオを拡充する技術開発を行っている。

(注) ネットワーク装置自身が自律診断機能で検知できない障害。

次章以降、コンシャスネットワークの実現に必要なとなる、ネットワーク障害を未然に防止するためのIPパケットの挙動分析技術および光伝送装置の信号品質モニタ分析による予兆検知技術と、サービス品質を維持していくための光信号の収容最適化技術、およびIPネットワークの自動診断技術について説明する。

ネットワーク障害の未然防止技術

● IPパケットの挙動分析

ネットワーク機器やケーブルの劣化、またネットワーク機器のバグによる間欠障害などを機器自体が検知できない場合は、パケットロスやRTT (Round Trip Time) の低下などの事象として現れる。

ネットワークの維持・最適化を支援するFUJITSU Network Proactnes II QMでは、ネットワークを流れるパケットをキャプチャーし、TCP (Transmission Control Protocol) の特性を利用して解析する。これによって、パケットロスやRTTといったEnd-to-Endの通信品質を計測している。このパケットロスやRTTの低下を検知することで、障害の予兆やサイレント故障の検知を実現している。更に、End-to-Endで通信品質を計測することで、送信元・送信先ごとに通信品質が把握できる。

このため、トラフィックが集まるポイントにQMを設置し、パケットをキャプチャーするだけで、通信品質を低下させている箇所を絞り込むことができる(図-1)。

障害箇所の検出は、まずTCPのシーケンス分析により、キャプチャーポイントを中心にクライアントとキャプチャーポイントとの間の送信方向と受信方向、キャプチャーポイントとサーバとの間の送信方向と受信方向の4区間の品質から被疑箇所を切り分ける。次に、End-to-Endの通信品質の情報と、対象とするネットワーク構成に合わせたネットワークアドレスやVLAN-ID (Virtual LAN Identifier)などのキー情報を基に、劣化状況の傾向を分析する。これによって、被疑箇所を絞り込む。

絞り込みの方法としては、IPアドレスとルーティング情報から特定する方法や、VLAN-IDから拠点を特定する方法がある。また、VXLAN (Virtual eXtensible LAN) を適用したオーバーレイネットワークでは、イーサネットフレームをUDP (User Datagram Protocol) /IPでカプセル化し、Inner (カプセル化前のイーサネットフレームの部分) のTCPセッションを使って通信品質を評価する。それを、InnerのIPアドレスでまとめることで論理的な劣化箇所を特定し、Outer (カプセル化のための

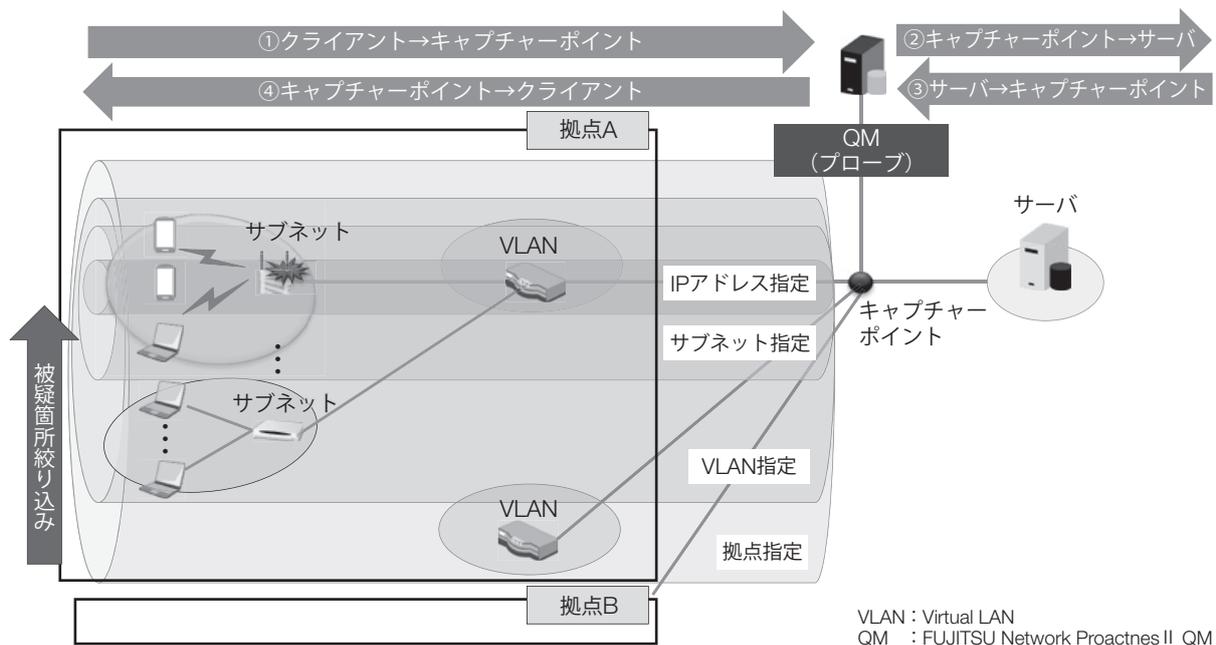


図-1 End-to-Endでの障害箇所の切り分け

UDP/IP) のIPアドレスでまとめることで物理的な劣化箇所を特定できる。

このように、End-to-Endの通信品質を分析することによって、問題のある機器やケーブルの特定が短時間で行える。同時に、以下に述べる光伝送路の劣化分析などの詳細分析も迅速に行える。

● 光伝送装置の信号品質モニタ分析

WDM伝送では、1波長あたりの伝送速度が600 Gbps、ファイバー1芯あたりの伝送容量が76.8 Tbps⁽¹⁾に及ぶシステムの実用化が迫っている。また、従来通信系事業者が主体であった光ネットワークの運用は、大規模データセンター間を接続するDCI (Data Center Interconnect) など、エンタープライズユーザーにも広がりを見せている。

このように、WDM伝送システムはオンプレミス・クラウド間にまたがる様々な業務を支えるプラットフォームとして位置付けられ、ますます重要となっている。その中で、光ネットワークの運用状態の可視化と分析によるシステム障害の予兆検知によって、大規模障害を回避することへの期待が高まっている。

光ネットワーク内の障害予兆検知を図-2に示す。光伝送装置には、光信号強度などの信号品質を監視するPM (Performance Monitor) 機能が具備されており、それらを光ネットワークにおけるセンサーデバイスとして活用する。従来は、障害・アラーム発生の前後における装置状態の監視にのみ用い

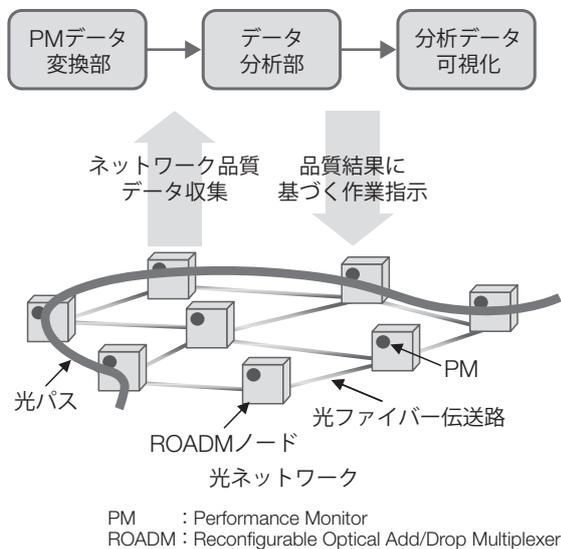


図-2 光ネットワーク内の障害予兆検知

ていたPM情報を、常時ログデータとして保存し、機械学習によって分析する。これによって、光伝送システムにおける障害の予兆を検知し、障害発生箇所を特定する。

そして、ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) ノードと光ファイバー伝送路の接続関係、および使用される光パスの情報 (始点、終点、中継ノード) を考慮しながら、装置入出力、光伝送システム内部における光信号の設計値と光信号の劣化状況を機械学習によって把握し、劣化した箇所とその原因を分析している。

サービス品質を維持していくための技術

● 光信号の収容最適化

光ネットワークにおいては、増加するトラフィックを効率的に収容するために、波長資源を有効活用する利用効率拡大への期待が高まっている。一方で、光ファイバーに収容可能な光波長数 (光信号帯域幅) には、システム構成上の制約がある。また、再生中継器を経由することなく光信号を接続するために、波長を変換せずに信号を収容する必要があった。しかし、収容するサービスの増加に伴い、波長の断片化 (フラグメント) が発生し、波長資源が活用できない現象が起きる。特に、ROADMノードで構成されるメッシュトポロジー型の光ネットワークにおいて、その現象が顕著となる {図-3 (a)}。

この問題を解決するために、断片化された光の波長をサービスに影響が出ないように再配置することによって、利用可能な波長に再生する光波長再配置技術 (アルゴリズム) を開発した。日本国内のコアネットワークを模擬したJPN-48⁽²⁾ {図-3 (b)} における、開発したアルゴリズムの効果を図-3 (c) に示す。波長の利用効率を示す指標には、ネットワークで占有されている波長数を示す最大占有波長数がある。これを使用して、本アルゴリズムによる最適化を行うことで、サービスを中断することなく理論的な限界とほぼ同等となる、最大占有波長数を20%以上改善できることが確認された⁽³⁾。

今回開発したアルゴリズムでは、ネットワーク内の任意のセグメントで光の波長資源の再配置が可能である。特に、トラフィックの需要が大きく、

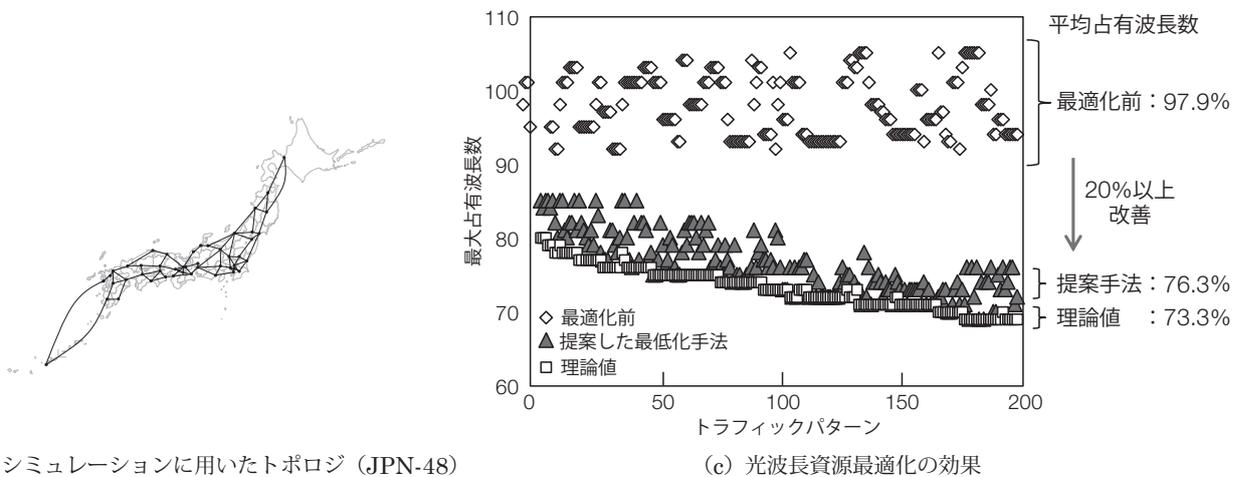
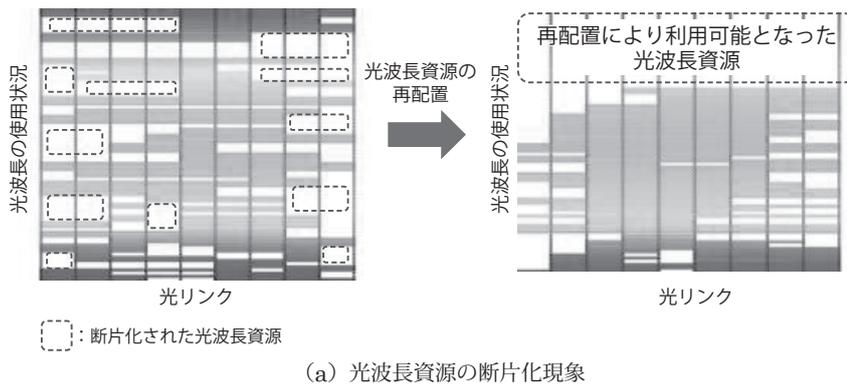


図-3 光ネットワークでの光波長資源の最適化

波長資源の枯渇が著しい領域に適用することで高い効果が見込める。すなわち、新規に光ファイバーを増設することなく、既存システム上にトランスポンダー（光電気変換器）を追加するだけでサービス導入が可能となる。このため、光ネットワーク運用者は、既存設備の有効活用につながるとともに、設備投資が抑制できる。

● IPネットワークの自動診断

サービス観点でネットワーク品質の可視化や監視を行う場合、以下の二つの課題がある。

(1) 課題1

パケットロスやRTTといったネットワーク観点のKPI (Key Performance Indicator) では、実際のサービスにどのように影響するかが、ネットワークの専門家には分からない。

これに対しては、サービスへの応答時にシステム上で実際にかかった待ち時間を、ネットワーク品質に起因する要素と、サーバ処理やクライアント処理に起因する要素に分類して計測する手法を

確立することで解決した (図-4)。具体的には、以下の8種類の時間に分類した。

- ・コネクション確立時間
- ・SYN (接続要求) 再送時間
- ・クライアントデータ転送時間
- ・クライアントデータ再送時間
- ・クライアント処理時間
- ・サーバデータ転送時間
- ・サーバデータ再送時間
- ・サーバ処理時間

このように、ネットワーク品質に起因する遅延自体を詳細に計測することで、これまで把握できなかった実際のサービスへの影響を定量的に評価できるようになった。また、要因を分類することで、品質改善においてボトルネックになっている箇所も切り分けできる。これによって、ネットワークの専門家ではなくても容易に問題箇所を特定することができ、対処・改善の施策の立案ができるようになった。この手法は特定のアプリケーションに依存し

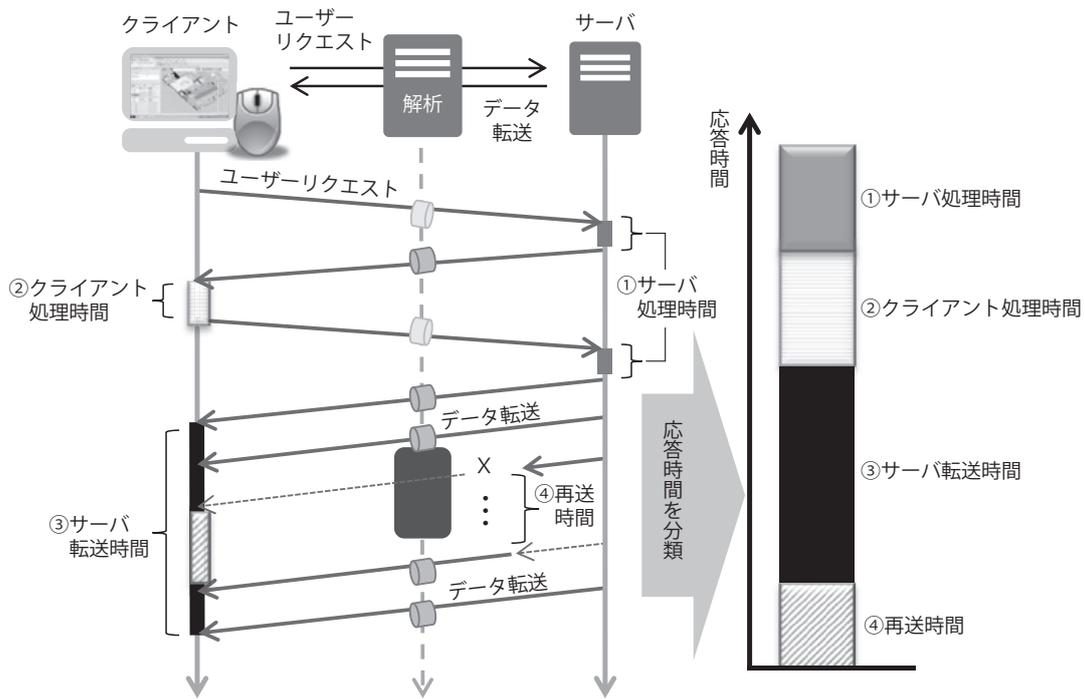


図-4 応答時間による品質分析

ないため、様々なネットワークの品質監視に適用できる。

(2) 課題2

アプリケーションごとにネットワークの利用形態が異なるため、同一の基準で遅延時間は判断できない。

これに対しては、(1)で計測した平常時の遅延時間をアプリケーションやサブネット単位に束ねて標準偏差(平均値±3σ)の遅延時間分布を解析し、97%~99%程度を網羅する値をしきい値として、その値を超える割合の変化で異常を判定する手法を確立した。しかし、この手法ではアプリケーションごとに処理内容が異なり、各遅延の内訳にばらつきが大きい場合、一般的な分布モデルに当てはまらず異常判定精度が落ちる問題があった。これに対応するために、ロバスト統計的な手法を適用した。

一般的に、外れ値が含まれるデータ列に対しては、代表値として中央値を使うことが多いが、ネットワークのKPIデータでは外れ値が一方に偏るケースが多く不適である。このため、刈り込み平均を用いてデータの広がりを表す指標として、中央絶対偏差(MAD)を利用した。そして、分散

に対してどの程度外れているか(標準偏差)をしきい値として通常時と比較する。これによって、個々のアプリケーションごとにしきい値を設定する必要がなくなり、現実的な監視運用が可能となった。

む す び

本稿では、ネットワークを介してサービスを持続的に提供するコンシャスネットワークのコンセプトのもと、富士通が開発したネットワーク障害を未然に防止するための予兆検知技術と、サービス品質を維持するための技術について述べた。

光ネットワークとIPネットワークにこれらの技術を適用し、統合的な監視を実現する。これによって、光レイヤーで問題があった場合でも、パケットレイヤー(End-to-End)通信への影響の有無が確認でき、エンドユーザーへの通知も可能となった。今後は、データセンターファブリックネットワーク、無線ネットワークに監視領域を拡大していく。また、一部の予兆検知には機械学習を活用しているが、機械学習を含めたAI(人工知能)の適用範囲を広げて、より早い段階で自律制御を行うことで、安定したネットワークの提供を目指し

ていく。

本技術の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究「エラスティック光通信ネットワーク構成技術の研究開発」による成果を含む。

参考文献

- (1) 富士通：Fujitsu Accelerates Path to 5G and Conscious Networks with Next-Generation Variable Optical Transport.
<http://www.fujitsu.com/us/about/resources/news/press-releases/2018/fnc-20180312.html>
- (2) 電子情報通信学会フォトリックネットワーク研究会：JPNモデル。
<https://www.ieice.org/cs/pn/jpn/jpnm.html>
- (3) Y. Takita et al. : Wavelength Defragmentation for Seamless Service Migration. Journal of Optical Communications and Networking, Vol.9, Iss.2, Page. A154-A161, 2017.



飯塚 史之 (いづか ふみゆき)

(株) 富士通研究所
コンピューターシステム研究所
ネットワーク・サービス品質解析技術
に関する研究開発に従事。



本多 俊樹 (ほんだ としき)

富士通 (株)
ネットワークソリューション事業本部
ネットワークの運用高度化ソリューションの企画・技術開発に従事。

著者紹介



新田 拓哉 (にいた たくや)

富士通 (株)
ネットワークソリューション事業本部
パケット解析・蓄積の製品開発に従事。



青木 泰彦 (あおき やすひこ)

(株) 富士通研究所
サービス指向ネットワーク研究センター
ネットワーク運用監視技術に関する研究開発に従事。



大矢 恭子 (おおや きょうこ)

富士通 (株)
ネットワークソリューション事業本部
ネットワーク運用管理の製品開発に従事。